

# 대체에너지 차세대주자, 염료 태양전지

글\_ 박방주 중앙일보기자 bpark@joongang.co.kr

‘사하라 사막 면적의 2.6%만 태양전지로 덮어 전기를 생산하면 전세계 에너지 소비량을 모두 공급할 수 있다.’

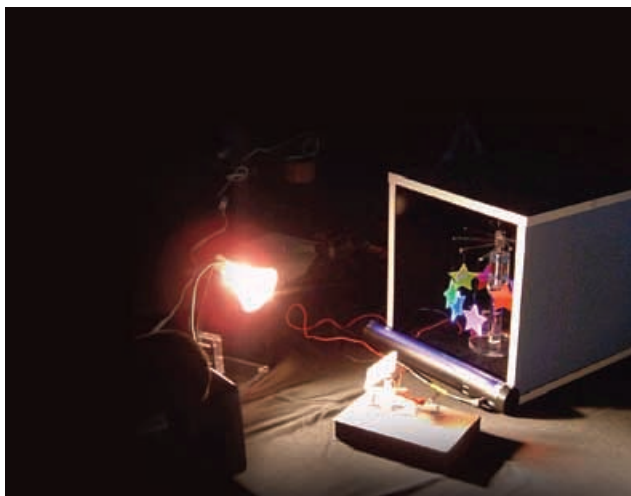
이는 비외른 롬보르가 자신의 책 『회의적 환경주의자-이 세상의 실제 상황을 직시하다(『문화산책』 104쪽 참조)』에서 주장한 것이다. 사하라 사막의 면적은 약 860만km<sup>2</sup>이므로 그 2.6%이면 22만3천600km<sup>2</sup>에 해당한다. 이는 우리 나라의 2.2배에 해당하는 크기이다. 태양전지의 가능성을 웅변적으로 보여준다 하겠다.

그러나 태양전지가 실용화된 지 50년 가까이 되지만 아직 대중화는 답보 상태를 면치 못하고 있다. 발전 효율에 비해 가격이 비싼데다 석유나 원자력, 수력 발전 등에 비해 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 이런 단점을 극복할 수 있는 차세대 태양전지의 기술이 부상하고 있다. 염료 태양전지가 그것이다. 기존 태양전지의 주재료가 메모리 반도체 재료인 실리콘인데 비해 값이 그 5분의 1 수준인 유기물 염료를 사용하는 것이다. 염료는 섬유를 염

색할 때 사용하는 재료이다. 염료 태양전지는 발전 성능은 보급형 실리콘 태양전지와 비슷하면서도 제작비는 싸고, 또 응용분야도 훨씬 넓어 태양전지의 차세대 주자로 손색이 없다.

## 세계 각국 염료 태양전지 상용화 임박

‘알록달록한 무지개 색’, ‘휘어지고 구부러지는 것 가능’, ‘투명하면서도 자외선 차단’, ‘유리창 겸용 가능’, ‘흐린 날에도 고효율 작동’, ‘저렴한 생산비’ 등이 염료 태양전지의 특징을 요약하는 말이다. 검은색 일변도의 기존 실리콘 태양전지가 진화하고 있는 모습이기도 하다. ‘염료 태양전지’는 염료가 빛을 받으면 전기를 생산하는 것으로 유기 태양전지라고도 부른다. 일종의 유기물을 전기 생산에 활용하기 때문에 붙여진 것이다. 기존 태양전지는 무기물인 실리콘이나 화합물 반도체로 만들어 구부러지지도, 다양한 색을 내지도 못할 뿐더러 전기 생산비용이 비싸 대



일본 기후 대학에서 개발한 ‘레인보우셀’. 염료의 색깔을 바꿔 다양한 색의 염료 태양전지를 개발했다.



한국전자통신연구소에 개발한 투과율 65%의 염료 태양전지창. 이를 크게 만들면 유리창 겸용으로 사용할 수 있다.

중화에 어려움이 있다.

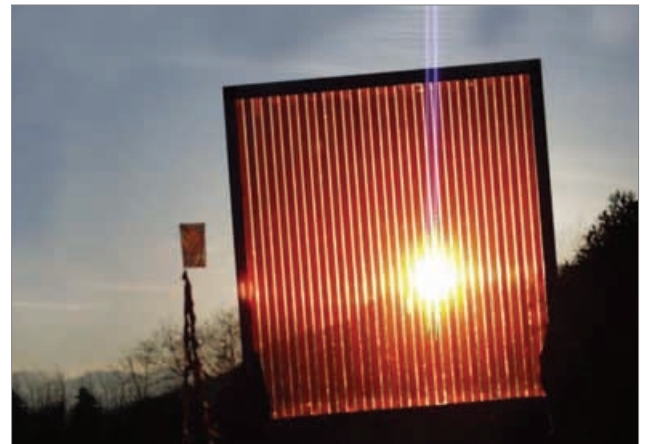
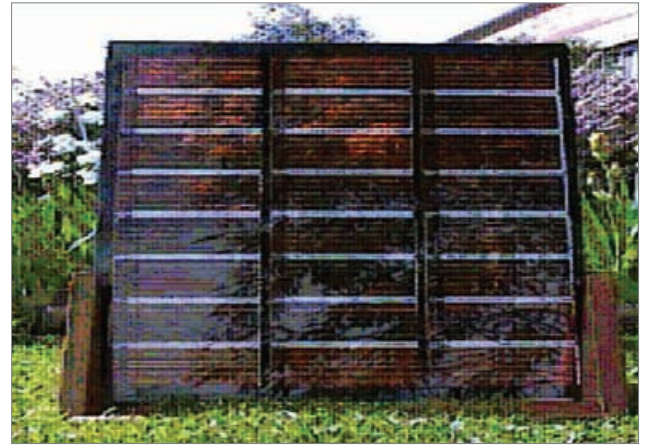
염료 태양전지는 다양한 형태·색상으로 가공할 수 있다는 것이 최대 장점이다. 일본 기후(岐阜)대학 미노우라 교수팀은 지난해 말 빨강·파랑·노랑 등 다양한 색상으로 만들 수 있는 염료 태양전지 '레인보 셀'을 개발, 상용화에 박차를 가하고 있다. 이 태양전지를 건물 외벽 장식에 사용하면서 전기도 생산할 수 있는 것이다. 산화아연과 루테튬 계열의 색소를 이용해 태양전지의 색상을 다양화하는 데 성공했다. 이를 이용하면 건물 외벽이나 유리창을 색소 태양전지로 장식하고, 전기도 얻을 수 있다. 유리창으로 쓸 경우 밖을 내다볼 수 있으므로 유리창과 태양전지 겸용이 가능한 것이다.

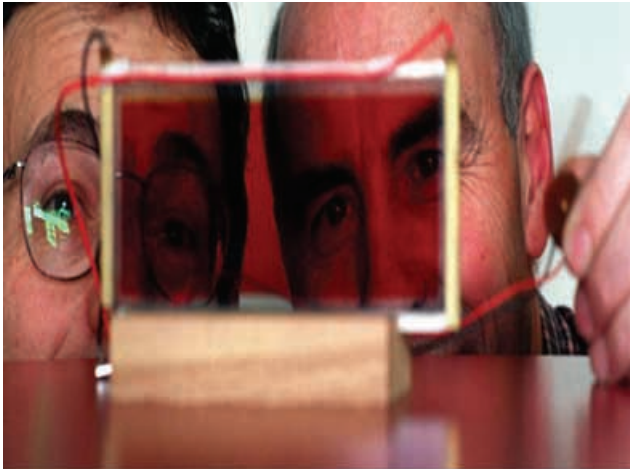
일본 산업기술종합연구소도 자외선은 차단하면서도 투명한 유기 태양전지를 개발하는 데 성공했다. 이는 유리창으로 사용하면 전기를 생산할 수 있어 일거양득이다. 오스트레일리아 조헨스 케플러대학의 연구진은 2001년 부드러운 플라스틱처럼 휘어지는 유기 태양전지를 개발했다.

미국 캘리포니아대 폴 알리비사토스 박사는 염료와 반도체 입자를 버무려 넣은 고분자를 페인트처럼 건물 외벽이나 지붕에 칠한 뒤 전극만 연결하면 전기를 만들어 쓸 수 있는 염료 태양전지를 개발중이다. 태양전지용 페인트는 세 층으로 칠하게 되는데 맨 위와 바닥의 전극층 역할을 하는 페인트, 중간에 전기를 생산하는 층을 각각 구분해 덧칠하는 것이 기본 구상이다.

우리 나라에서는 한국과학기술연구원(KIST) 강용수 박사가 플라스틱과 같은 고분자로 액체 전해질을 대신할 수 있는 고체 전해질을 개발했다. 이 고분자 전해질을 염료 태양전지에 적용하면 에너지 전환효율이 3~4배 이상 높아진다. 이는 액체 전해질이 증발하거나 깨질 때 흘러내리는 등의 단점을 극복할 수 있게 한다. 또 태양전지 형태를 구부리는 다양한 형태로 제작이 가능하고, 가볍고 부피가 얇아 소형 전자제품의 전지로도 유망하다. 한국전자통신연구소에서는 투과율 65%의 유리창 겸용 염료 태양전지를 개발했다.

일본의 경우 국가적인 차원에서 염료 태양전지의 개발에 나서고 있다. 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 유일한 대안으로 생각하고 있는 것이다. 현재 도요타, 산요, 샤프, 맥스웰 등 50개 기업과 산업기술종합연구소, 오사카대학, 도호쿠대학 등 44개





대학이 참가하는 거대 공동연구팀을 구성해 운영하고 있다. 이 연구팀은 많은 연구 시제품을 생산, 실용화를 위한 내구성 시험을 하고 있다.

루테늄 계열과 같은 염료로 전기를 만드는 원리는 이렇다. 염료는 빛을 받으면 에너지가 올라가면서 전기를 만드는 입자인 전자를 내놓는다. 이 전자는 함께 버무려진 반도체 입자를 거쳐 전극으로 이동하면서 전기를 만든다. 염료라는 것은 가시광선의 빛을 선택적으로 흡수하는 물질을 말한다. 즉 이를 염료(dye)라고 하며, 이들 중 가죽이나 종이, 섬유 등을 염색할 수 있는 것을 염료, 그렇지 않은 것을 안료라고 또 구분해서 부른다. 안료는 페인트 등에 섞어 쓴다.

현재 효율은 스위스 공과대학 마이클 그래첼 박사가 개발한 염료 태양전지가 10.2% 수준이다. 이는 일반에 보급되고 있는 순

도가 낮은 실리콘 태양전지에 육박하는 성능이다. 내구성 실험 결과 수명은 7~10년. 제조비용은 기존 태양전지의 5분의 1 정도라는 것이 전문가들의 말이다. 일본 아이신정기와 도요타 중앙연구소에서 개발한 유기태양전지는 옥외테스트 결과 실리콘 태양전지에 비해 성능이 월등히 뛰어났다. 맑은 날의 경우 10%, 흐린 날은 20% 이상 발전 효율이 높았던 것이다. 염료 태양전지가 실내 불빛에도 효율이 뛰어나다는 특징이 그대로 입증된 것이다. 이 시제품의 경우 장기 실용화 시험만 통과되면 곧바로 시판에 들어갈 수 있는 것이다.

### 수명, 안정성, 발전효율 보완 필요

발전비용을 다른 에너지와 비교해보자. 킬로와트(kWh) 당 석탄은 3.11~3.41센트, 가스터빈은 2.53~3.41센트, 원자력발전은 3.31~5.74센트, 입지가 좋은 풍력발전의 경우 5.84센트, 보통의 풍력 발전은 3.89센트, 실리콘 태양전지는 25~30센트, 염료태양전지 10센트 이하로 조사되고 있다. 염료 태양전지는 앞으로 그 비용이 급격하게 떨어질 것으로 기대하고 있다. 원료가 풍부한 데다 대량 생산과 고효율 기술이 개발될 것이기 때문이다.

염료 태양전지가 본격적으로 상용화하려면 해결해야 할 과제가 많다. 수명이 길어야 한다. 실리콘 태양전지의 경우 비록 부품을 갈아주기는 하지만 반 영구적으로 사용할 수 있다. 그러나 염료 태양전지는 유기물이라는 한계 때문에 그같은 내구성을 확보하지 못하고 있다. 물론 옥외 시험에서 7~8년의 내구성을 확인하긴 했지만 수명을 더 연장할 수 있는 첨단 재료의 개발이 필요

### 태양전지란

태양전지는 광기전 효과에 의해 태양빛 에너지를 전기로 직접 변환하는 전기발생장치를 말한다. 태양전지를 뜻하는 영어 Photovoltaic의 photo는 빛을 의미하는 그리스어 phos로부터 유래했다. volt는 볼타 전지를 발명한 전기연구의 개척자로 불리는 Alessandro Volta의 이름을 따온 것이다. 태양전지의 주재료는 여러 가지가 사용된다. 실리콘 반도체나 화합물반도체, 유기 태양전지로 대별된다. 세계 시장은 연평균 30~40%씩 성장하고 있다.

응용분야는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 전기를 생산하는 발전 장치로, 또 하나는 광감응센서이다.

전기선을 가설할 수 없는 오지의 전기공급장치에서부터 인공위성, 소형성 탐사선, 우주정거장 등의 발전 장치 등 여러 곳에 사용된다. X선 촬영장치나 인공망막에도 태양전지가 사용된다. 이 때는 빛 센서로서다. 인공 망막의 경우 외부의 빛을 전기신호로 바꿔 시신경에 전달하는 역할을 한다. 미국에서는 태양전지로 만든 인공망막을 6명의 맹인에게 시술해 불안전 하나마 개인 효과를 봤다. 이런 맹인은 시신경이 살아 있어야 시술이 가능하다.

하다. 또 액체로 된 전해질이 누수와 증발로 인한 안정성과 유해성 문제도 걸림돌 중의 하나이다. 액체 전해질이 증발되면 곧 태양전지의 성능이 나빠지게 된다. 또 전해액이 인체나 주변 물질에 악 영향을 끼칠 수 있다. 최근에 고체로 된 고분자 전해질이 개발됐다고는 하지만 이 역시 아직 초보적인 수준이다. 상용화까지는 다양한 실증 실험이 필요하다.

발전 효율을 높이는 것도 중요한 과제이다. 현재 실리콘 태양전지의 경우 30% 이상이다. 염료 태양전지의 세배 정도에 해당하는 고효율이다. 물론 이런 고효율을 얻기 위해서는 순도가 아주 높은 단결정 실리콘을 사용해야 하기 때문에 값이 비싼 흠은 있다. 하지만 값보다는 성능을 위주로 하는 인공위성이나 군수품 등 고급 자재에는 실리콘 태양전지를 사용할 수밖에 없을 것이다. 물론 현재 일반 보급용 태양전지의 경우 발전 효율이 10%대다.

여기에 염료 태양전지를 비교한다면 가격 경쟁력이 있다고 할 수 있지만 좀더 효율을 높이지 않고는 시장을 확대하는데는 한계가 있다.

사실 태양전지는 1960~70년대를 거치면서 무한한 태양에너지를 이용할 수 있다는 점 때문에 대체 에너지로 각광을 받았었다. 그러나 아직까지 발전비용측면에서 경쟁력을 확보하지 못해 대중화가 제대로 이뤄지지 않은 것이다. 이런 점을 감안해볼 때 염료 태양전지도 발전효율과 가격 경쟁력을 확보하지 않으면 대중화하기 어려울 것이다.

염료 태양전지는 1991년 마이클 그레첼 교수가 처음으로 개발했다. 10여 년 정도밖에 되지 않은 개발 역사를 가진 염료 태양전지가 1백년이 넘는 기존 실리콘이나 화합물 반도체 태양전지의 아성을 위협하고 있는 것이다.

현재 미국·일본·스위스 등 선진 각국에는 국가적으로 대규모 연구팀을 만들어 염료 태양전지의 개발, 상용화에 나서는 등 그 열풍이 거세다. 일본이나 유럽의 경우 일조량이 우리 나라보다 적다. 이는 태양전지 보급 환경이 좋지 않다는 것이다. 그런데도 태양전지 개발과 보급을 국가차원에서 적극적으로 나서고 있다. 최대한 대체에너지를 개발하겠다는 것이다. 그러나 우리 나라는 아직 개인적인 연구에 머물고 있을 뿐이다.

석유 한방울 나지 않는 우리 나라로서는 더 이상 염료 태양전지의 개발을 강 건너 불구경하듯 해서는 안될 것 같다. ㉔

인터뷰

염료 태양전지의 개척자 마이클 그레첼 교수



왼쪽부터 필자, 그레첼 교수, 강용수 KIST 박사

“염료 태양전지는 투명하게 만들 수 있어 건물 유리창 겸용으로 쓸 수 있습니다. 이는 기존 실리콘으로 만드는 태양전지로는 흉내 내기 어려운 장점입니다.”

한국전지학회 초청으로 최근 내한한 스위스 공과대학

마이클 그레첼(57) 교수는 “태양전지에 새로운 패러다임이 시작되고 있다”고 강조했다. 그레첼 교수는 1991년 유기물을 이용한 염료 태양전지를 처음으로 개발했으며, 이 분야의 기술을 선도하고 있다. 그가 개발한 염료 태양전지는 태양을 이용한 대체에너지 개발의 새 장을 열고 있다는 평을 받고 있기도 하다.

☉ 염료 태양전지에 대한 각국의 관심도는

“차세대 대체에너지 개발을 위해 국가 차원에서 프로젝트를 추진하고 있는 곳이 많다. 대표적인 나라는 일본·미국·호주·유럽연합 등이며, 그 중 일본이 가장 적극적이다. 올해 한 전지학회에 참석했을 때 보니 일본에는 연구자만 2백여 명이나 됐다. 일본은 이와 관련, 특히 1백20여 건으로 세계에서 가장 많다. 또 샤프 등 50여 개사가 염료 태양전지의 개발에 나서고 있을 정도다. 북한 과학자도 내 연구실에 서너번 들러 공부를 해갔다.”

☉ 실리콘 태양전지와 경쟁이 심하지 않은가

대체에너지 수요는 세계적으로 급속하게 늘고 있다. 이는 시장이 무궁무진하다는 것이다. 굳이 실리콘 태양전지와 경쟁할 필요는 없다는 말이다. 특히 염료 태양전지는 휘어지고, 다양한 색상을 넣을 수 있으며, 유리창 겸용으로 만들 수 있는 등 장점이 많아 독자적인 시장을 충분히 형성할 수 있을 것으로 보고 있다.

☉ 염료 태양전지가 실제 팔리고 있나

우리 연구실이 창업한 그레이트셀쥬과 솔라로닉스(쥬)가 제품을 생산하고 있으며, 호주에서는 제품이 판매되고 있다. 우리 연구실에도 제품을 만들어달라는 전화가 자주 올 정도다. 이미 그 안전성과 성능을 인정받고 있다는 방증이다.

☉ 개발 역사가 10여년밖에 안 되는데...

기술 개발이 급속하게 이뤄졌다. 발전 효율이 10%를 넘고 있는데 이는 실리콘 태양전지의 일반 보급형 수준이다. 내 연구실에서는 발전효율 목표를 15%로 잡고 연구중이다. 이제 기업에서 투자해야 할 시점이다.

☉ 염료 태양전지의 장점은 무엇인가

실리콘 태양전지에 비해 값이 5분의 1에 지나지 않는다. 또 다양한 형태와 색상으로 가공할 수 있어 응용분야가 넓다.